Blendungserscheinungen in Abhängigkeit von physikalisch meßbaren Größen, untersucht an Automobil-Scheinwerfern

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

von

Max Wolff

Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Februar 1932

Tag der Promotion: 9. Mai 1932

Druck: Union Deutsche Verlagsgesellschaft Zweign. Berlin SW 19, Krausenstr. 35-36

264

Referenten:

Privatdozent Dr. Skaupy

Professor Dr. Wehnelt

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gehlhoff und Schering[1]) haben im Jahre 1923 experimentelle Untersuchungen der Blendung[2]) durch Scheinwerfer vorgenommen. In dieser Arbeit bestimmen die Verfasser die Maximalwerte der erträglichen Blendungsleuchtdichten in Abhängigkeit von der Scheinwerfergröße und von der Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer. Sie untersuchen außerdem noch den Einfluß der Lichtfarbe auf die Blendung. Die Arbeiten von Weigel[3]) und Walsh[4]) behandeln die Frage der Blendung vom theoretischen Standpunkt und stellen Forderungen auf, die abgeblendete Automobilscheinwerfer erfüllen sollten. Neben diesen Arbeiten, die sich speziell mit der Blendung durch Scheinwerfer beschäftigen, sind noch eine Reihe anderer experimenteller Untersuchungen über Blendung[5]—[12]) gemacht worden. Diese waren jedoch nicht den für Scheinwerfer geltenden Bedingungen angepaßt, und es war daher fraglich, ob bzw. wie weit die dabei gewonnenen Resultate auf Scheinwerfer anwendbar sind.

In der vorliegenden Arbeit ist nun versucht worden: 1. festzustellen, welche physikalischen Eigenschaften der Scheinwerfer und Lichtquellen für die Blendung von Bedeutung sind und in welcher Weise die Blendung von diesen Eigenschaften abhängt; 2. zu prüfen, ob bzw. wie weit die bei anderen Blendungsuntersuchungen gefundenen Resultate auf Scheinwerfer anwendbar sind.

Die Meß- und Beobachtungsmethoden

Vor Inangriffnahme der Untersuchungen mußte zunächst nach einer Meßmethode gesucht werden, die es gestattet, in einfacher und zuverlässiger Weise quantitative Blendungsmessungen vorzunehmen. Die Größe der Blendung wurde — wie auch in den meisten früheren Arbeiten[7]—[12]) — durch die Größe der durch sie verursachten Sehstörung bestimmt.

---

[1]) Gehlhoff und Schering, Ztschr. für techn. Phys. 4 (1923), S. 321.
[2]) Ueber Definition der Blendung siehe Weigel, Licht und Lampe 1929, Heft 18 und 19.
[3]) R. Weigel, Ztschr. für techn. Phys. 6 (1925), S. 504.
[4]) I. W. T. Walsh, Journ. Opt. Soc. Amer. 18 (1929), S. 202.
[5]) H. Lux, Ztschr. für Belw. 26 (1920), S. 128.
[6]) I. Blanchard, Phys. Rev. 9 (1918), S. 81; Ztschr. für Belw. 28 (1922), S. 25.
[7]) M. Luckiesh und L. L. Holladay, Trans. Ill. Eng. Soc. 20 (1925), S. 221; Licht und Lampe, 1925, S. 459 und 496.
[8]) N. A. Halbertsma, V. D. I.-Nachrichten 1925, Heft 23.
[9]) M. Bordoni, L'Elettrotechnica 11 (1925), Heft 25.
[10]) L. L. Holladay, Journ. Opt. Soc. Amer. 12 (1926), S. 271.
[11]) L. L. Holladay, Journ. Opt. Soc. Amer. 14 (1927), S. 1.
[12]) R. Weigel, Licht und Lampe 1929, Heft 18 und 19.

Um die Größe der durch die Blendung verursachten Beeinträchtigung der Sehleistung messen zu können, mußte ein Prüfobjekt gesucht werden, bei dem die Feststellung, ob es richtig erkannt ist oder nicht, nicht von dem subjektiven Empfinden des Beobachters abhängig ist. Die Aussage des Beobachters muß vielmehr objektiv kontrolliert werden können. Diese Bedingung ist bei dem Landoltschen Ring (siehe Abb. 1), der bei den vorliegenden Untersuchungen verwendet wurde, erfüllt. Der Einwand Weigels[2]) gegen dieses Testobjekt, daß man nämlich oft den Spalt des Ringes nicht an der Stelle, wo er sich befindet, sondern an der diametral gegenüberliegenden Stelle sieht, und daß der Landoltsche Ring deshalb für Blendungs-

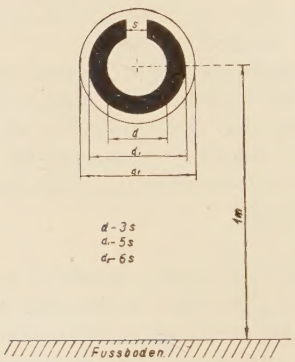

Abb. 1

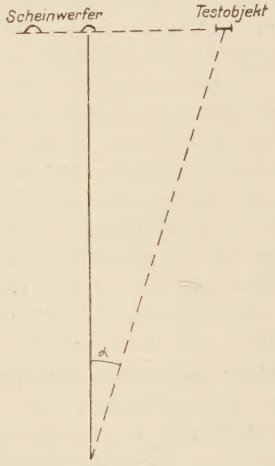

Abb. 2

messungen nicht recht geeignet sei, trifft für die vorliegenden Untersuchungen nicht zu. Dieser Effekt tritt nämlich nur dann auf, wenn das Testobjekt unter den betreffenden Beobachtungsbedingungen gerade schon nicht mehr mit Sicherheit erkennbar ist. Wählt man nun, wie das bei den vorliegenden Untersuchungen geschehen ist, Größe und Kontrast des Testobjektes[13]) so, daß es ohne Vorhandensein einer blendenden Lichtquelle von jedem Beobachter gut erkannt werden kann, so läßt das Auftreten des Diagonaleffektes nach Einschalten einer blendenden Lichtquelle mit Sicherheit auf eine Beeinträchtigung der Sehleistung durch Blendung schließen.

[13]) Unter dem Kontrast des Testobjektes wird hier das Verhältnis der Leuchtdichte des äußeren hellen Teiles zu der Leuchtdichte des schwarzen Ringes verstanden.

Bei Benutzung dieses Testobjektes ist die Ermittelung der Größe der Sehstörung auf verschiedene Weisen möglich: 1. dadurch, daß das in der Ebene der Scheinwerferabschlußflächen aufgestellte Testobjekt dem Scheinwerfer solange genähert oder von ihm entfernt wird, bis es vom Beobachter gerade noch erkannt werden kann. Der Winkel α (siehe Abb. 2) zwischen den Blickrichtungen zum Scheinwerfer und zum Testobjekt kann als ein Maß für die Größe der Sehstörung und damit auch für die Blendung angesehen werden (Abstandsmethode).

2. dadurch, daß man die Lage des Testobjektes zum Scheinwerfer unverändert läßt und die zum Erkennen des Testobjektes nötige Beobachtungszeit zur Blendungsmessung benutzt (Zeitmethode);

3. dadurch, daß sowohl die Lage des Testobjektes als auch die Beobachtungszeit konstant bleiben und der Kontrast[13]) des Prüfobjektes[14]) geändert wird. Der zum Erkennen nötige Kontrast kann als Maß für die Blendung betrachtet werden (Kontrastmethode);

4. dadurch, daß die Beobachtungszeit, Kontrast und Lage des Testobjektes konstant bleiben und die zum Erkennen des Testobjektes nötige Beleuchtungsstärke als Maß der Blendung angesehen wird (Beleuchtungsstärkemethode).

Von diesen vier an und für sich ziemlich gleichwertigen Methoden wurde zunächst die Abstandsmethode benutzt, da sie am einfachsten durchzuführen war und die Versuchsbedingungen dabei am leichtesten zu kontrollieren waren. Einige Versuche nach den anderen drei Methoden zeigten, daß alle vier qualitativ die gleichen Ergebnisse liefern.

Die Beobachtungen nach der Abstandsmethode wurden in folgender Weise ausgeführt und ausgewertet:

Der Beobachter adaptierte zunächst zehn Minunten[15]) auf eine Leuchtdichte von zirka $1{,}3 \times 10^{-7}$ Sb. Dann wurde ihm für 1,1 sec. die Blickrichtung zum Scheinwerfer und zum Testobjekt freigegeben. Der Beobachter mußte dann angeben, in welcher Stellung sich der Schlitz des Landoltschen Ringes befand. Nach einer Pause von 1 Minute[15]) wurde die nächste Beobachtung bei inzwischen veränderter Schlitzstellung des Testobjektes gemacht. Dann folgte wieder eine Pause von 1 Minute und daran anschließend wieder eine Beobachtung usw. Bei jedem Abstand des Testobjektes vom Scheinwerfer wurden sechs Beobachtungen gemacht. Es wurde angenommen, daß

[14]) Im Prinzip wäre es auch möglich, die Veränderung der Schlitzbreite oder der Breite des schwarzen Ringes zu Blendungsmessungen zu benutzen.

[15]) Die Adaptationszeit war zunächst auf 5 Minuten und die Pause auf ½ Minute festgesetzt. Auf Anraten von Herrn Professor Comberg, dem ich auch für die augenärztliche Untersuchung einzelner Beobachter zu Dank verpflichtet bin, wurden diese Zeiten auf 10 bzw. 1 Minute erhöht.

der betreffende Beobachter das Testobjekt in einem bestimmten Abstand vom Scheinwerfer erkennen kann, wenn von den sechs Beobachtungen bei diesem Abstand mindestens fünf richtig waren. Der Grenzabstand der Erkennbarkeit des Testobjektes wurde wie folgt definiert: Machte ein Beobachter z. B. bei einem Abstande des Testobjektes vom Scheinwerfer von k cm zwei oder mehr Fehler bei sechs Beobachtungen und bei einem Abstande von k + 10 cm einen Fehler, so wurde der Abstand k + 10 cm als Grenzabstand der Erkennbarkeit des Testobjektes angesehen. Machte der Beobachter dagegen bei dem Abstand k + 10 cm null Fehler, so wurde der Abstand k + 5 cm als Grenzabstand angesehen. Um Fehler durch verschiedene Dispositionen des Beobachters an verschiedenen Tagen zu vermeiden, wurde jede Versuchsreihe mit möglichst vielen Beobachtern ausgeführt. Bei den meisten Versuchen standen etwa zehn Beobachter zur Verfügung. Die für die einzelnen Beobachter gefundenen Grenzabstände wurden gemittelt und der Winkel, unter dem dieser mittlere Abstand vom Beobachter aus erscheint, als „relative Blendung" bezeichnet[16]).

Versuchsanordnung

Zur Durchführung der Versuche stand ein 36 m langer und 3 m breiter Kellerraum zur Verfügung. Die Wände und Decken dieses Raumes waren schwarz gestrichen. Der Fußboden war mit braunen Fliesen von matter Oberfläche ausgelegt. Das Reflexionsvermögen der Fliesen betrug zirka 14 Prozent. Das entspricht etwa dem Reflexionsvermögen einer mit Kleinsteinpflaster versehenen Landstraße. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 3 skizziert. Bei den meisten Versuchen wurden, um die Verhältnisse in der Praxis zu berücksichtigen, zwei Automobilscheinwerfer der gleichen Art benutzt. War für eine Untersuchung nur ein Scheinwerfer nötig, so wurde stets der dem Beobachter genau gegenüberliegende eingeschaltet. Die Höhe der Scheinwerfermitten über dem Boden betrug in der Regel 100 cm, ihr horizontaler Abstand 73 cm. Da die Scheinwerfer noch mehrere Meter von der Rückwand des Raumes entfernt waren, war die Leuchtdichte des Hintergrundes nahezu Null. In der Ebene der Scheinwerferabschlußflächen befand sich das oben besprochene Testobjekt. Die Höhe der Mitte des Testobjektes über dem Boden betrug 100 cm, die Schlitzbreite s des Landoltschen Ringes meistens 50 mm. Das Reflexionsvermögen des schwarzen Ringes betrug stets 3,4 Prozent. Die Beleuchtung des Testobjektes erfolgte durch zwei für den Beobachter nicht sichtbare Lampen. In 30 m Entfernung vor den Scheinwerfern befand

[16]) Da der Beobachter während des Versuches die Scheinwerfer sowohl zentral als auch peripher sehen konnte, wird im folgenden stets nur der Ausdruck „Blendung" gebraucht, ohne eine Unterscheidung zwischen zentraler und peripherer Blendung zu treffen.

sich der Platz des Beobachters in einem lichtdichten Kasten, der innen die oben erwähnte Adaptationsleuchtdichte von $1{,}3 \times 10^{-7}$ Sb hatte. In diesem Kasten befand sich in 115 cm Höhe (minimale Augenhöhe eines Kraftfahrers) ein Beobachtungsloch, das durch einen drehbaren Sektor abgedeckt war und für bestimmte Zeiten geöffnet werden konnte. Die Beobachtungszeit wurde nun folgendermaßen eingestellt: Vor dem Beobachtungsloch befand sich ein Pendelrad (siehe Abb. 4), aus dem ein Ringsektor von 90° herausgeschnitten war. Bei den gewählten Abmessungen dieses Pendelrades ergab sich eine Beobachtungszeit von 1,1 sec. Bei den Vorbereitungen für Vergleichsversuche nach der Zeitmethode wurde diese Vorrichtung zur Einstellung der

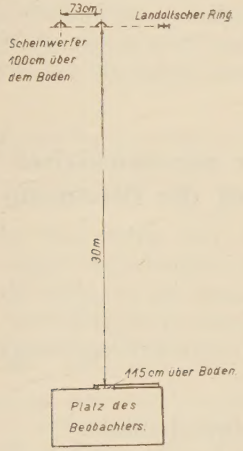

Abb. 3. Versuchsanordnung

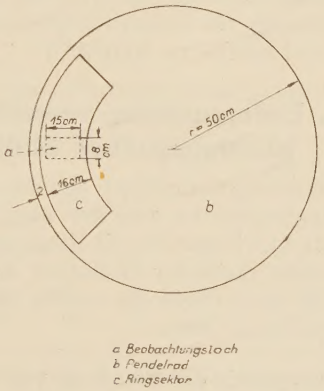

Abb. 4

Beobachtungszeit, wie unten näher beschrieben, abgeändert. Es wurden aber auch nach dieser Abänderung noch Messungen nach der Abstandsmethode durchgeführt, bei denen stets die Beobachtungszeit von 1,1 sec. eingehalten wurde.

Bei den Versuchen wurden serienmäßig hergestellte Lampen benutzt. Vor Benutzung wurden die Lampen zwei bis drei Stunden bei der vorgeschriebenen Prüfspannung (z. B. 13,5 V bei 12—16-Volt-Lampen) gealtert und dann in der Ulbrichtschen Kugel gemessen. Durch wiederholte Nachmessungen der Lampen wurde festgestellt, daß sie sich während der Versuche nicht geändert hatten.

Zur Messung von Beleuchtungsstärken wurden sowohl der Osram- wie auch der Bechsteinsche Beleuchtungsmesser benutzt. Abweichungen von der Eichung der Instrumente für senkrechten Lichteinfall durch schräge Incidenz wurden berücksichtigt. Zur Messung

kleiner Leuchtdichten (z. B. Adaptationsleuchtdichte und Leuchtdichten auf dem Testobjekt) wurde ein Macbeth-Illuminometer benutzt.

Bei Orientierungsversuchen erwiesen sich die auftretenden Blendungsunterschiede als so groß, daß die durch die Abmessungen des Versuchsraumes gegebene Aenderungsmöglichkeit des Abstandes Testobjekt—Scheinwerfer von 0,4 bis 1,95 m nicht für alle Versuche ausreichend war. Da die vorliegenden Untersuchungen an Automobilscheinwerfern vorgenommen wurden, die in bezug auf die Stärke der Blendung in zwei große Gruppen (Fernlicht und abgeblendetes Licht) eingeteilt werden können, war es möglich, mit zwei Testobjekten verschiedener Kontraste eine Ausmessung des gesamten Blendungsbereiches vorzunehmen. Da aber die Blendungsempfindlichkeit der einzelnen Beobachter ziemlich verschieden war, erwies es sich als notwendig, die Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt bei einzelnen Versuchsserien zu ändern[17]).

A. Untersuchung verschiedener physikalischer und physiologischer Einflüsse auf die Blendung

Wenn man zunächst einmal annimmt, daß unter sonst gleichen Bedingungen der von der blendenden Lichtquelle ins Auge gelangende Lichtstrom für die Blendung maßgebend ist, so müßte die Blendung einerseits der Größe der auf der Netzhaut abgebildeten Lichtquelle, andererseits der von ihr im Auge erzeugten Beleuchtungsstärke proportional sein.

Abhängigkeit der Blendung von der Scheinwerferfläche

Würde der Scheinwerfer die Lichtquelle fehlerfrei im Auge des Beobachters abbilden, so müßte die als leuchtend gesehene Fläche gleich der Scheinwerferabschlußfläche sein. Da die Automobilscheinwerfer aber kein einwandfreies optisches System darstellen und außerdem die Scheinwerferlampe nicht im Auge des Beobachters, sondern weit dahinter abbilden, muß damit gerechnet werden, daß bei Aenderung der optischen Daten des Scheinwerfers bei gleicher Lichtquelle und gleicher Scheinwerferabschlußfläche die Blendung verschieden groß sein kann. Durch Benutzung geeigneter Hilfsmittel, z. B. mattierter Lampen, läßt es sich jedoch erreichen, daß die Scheinwerferfläche dem Beobachter als gleichmäßig leuchtend erscheint. Dann müßte also die Blendung von der Brennweite der Scheinwerfer unabhängig sein. Es

[17]) Messungen des qualitativen Einflusses einer Aenderung von Beleuchtungsstärke oder Kontrast des Testobjektes werden weiter unten gelegentlich der Diskussion der Ergebnisse der Holladayschen Arbeit mitgeteilt.

wurde geprüft, ob innerhalb des bei den Automobilscheinwerfern vorkommenden Brennweitenbereiches diese Annahme berechtigt ist. Tabelle 1 zeigt, daß bei Brennweitenunterschieden von 1,25 bis 4,8 cm die Blendung unter diesen Voraussetzungen praktisch gleich bleibt.

Um zu zeigen, daß die Blendung eines derartigen Scheinwerfers auch tatsächlich gleich ist der Blendung durch eine mit der Scheinwerferleuchtdichte leuchtende Scheibe von der Größe der Scheinwerferabschlußfläche, wurde ein weiterer Versuch vorgenommen: Eine weiße Tonscheibe von 7,2 cm Durchmesser wurde durch zwei Kinoglühlampen von 15 Volt, 900 Watt, mit Hilfe von Parabolspiegeln so beleuchtet, daß die Tonscheibe in der Rückstrahlung eine Leuchtdichte von 23 Sb besaß. Die hierbei auftretende Blendung wurde verglichen mit der eines Scheinwerfers gleicher Leuchtdichte und gleicher Abschlußfläche. Wie Tabelle 2 zeigt, ist die Blendung tatsächlich in beiden Fällen die gleiche.

Tabelle 1

Abhängigkeit der Blendung von der Scheinwerferbrennweite bei gleichmäßig leuchtender Scheinwerferabschlußfläche

f	Beobachter[18])								Mittel	relative Blendung
	1	2	3	4	10	13	16	18		
1,25	80	110	170	70	95	100	80	75	98	1° 52′
2,7	85	95	165	85	85	85	85	75	95	1° 49′
2,75	80	—	185	80	85	85	80	85	97	1° 51′
4,8	85	110	165	80	75	90	85	85	97	1° 51′

Durchmesser aller Scheinwerfer 11,6 cm. Lampe 12—16 V, 50 W, seidenmattiert. Mittlere Leuchtdichte der Scheinwerfer 350 Sb. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 72 Lux

Tabelle 2

Vergleich der Blendung eines Scheinwerfers mit der einer ebenen leuchtenden Fläche gleicher Größe

	Beobachter									Mittel	rel. Bldg.
	1	2	4	5	10	13	15	17	18		
Ebene Fläche	45	90	60	190	65	70	70	80	55	81	1° 33′
Scheinwerfer	50	80	55	190	70	65	70	80	60	80	1° 32′

Durchmesser der Scheibe und des Scheinwerfers 7,2 cm, f = 2,75 cm. Lampe: 12—16 V, 50 W, mattiert. Testobjekt: s = 3 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 18 Lux.

[18]) Die bei den einzelnen Beobachtern angegebenen Zahlen stellen die gefundenen Abstände Scheinwerfer—Testobjekt in Zentimeter dar. Die Mittelwerte sind in Winkelgrade umgerechnet worden und gemäß der oben angegebenen Definition als „relative Blendung" bezeichnet.

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Blendung von der Größe der leuchtenden Scheinwerferfläche wurde ein Scheinwerfer (f = 2,75 Zentimeter, Durchmesser = 23,0 cm) mit klarer Abschlußscheibe und einer seidenmatten 50-Watt-Lampe benutzt. Die Herstellung der verschieden großen leuchtenden Flächen wurde durch das Vorschalten ringförmiger Blenden erzielt. Die Wirkung dieser Blenden wurde durch Messung der Beleuchtungsstärke auf dem Auge des Beobachters kontrolliert. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, war durch eine etwas ungleichmäßige Ausleuchtung des Scheinwerfers die erzeugte Beleuchtungsstärke nicht proportional der Scheinwerferfläche.

Tabelle 3

Scheinwerferfläche in cm^2	33,7	67,5	135	270
Beleuchtungsstärke beim Beobachter in Lux .	10,5	21,5	40,3	73
Prozentische Abweichung der Beleuchtungsstärke vom Sollwert, bezogen auf F = 67,5 Quadratzentimeter	—2,4	0	—6,3	—15
Korrigierte Leuchtfläche in cm^2	33	67,5	127	230

Die „wirksame Scheinwerferfläche" mußte also durch eine der erzeugten Beleuchtungsstärke entsprechende Korrektion ermittelt werden. In Tabelle 4 und Abb. 5 sind die Ergebnisse der Blendungsmessung in Abhängigkeit von den so korrigierten Scheinwerferflächen wiedergegeben. Die Resultate eines zweiten Versuches, bei dem eine gleichmäßige Ausleuchtung des Scheinwerfers erzielt wurde, sind in Tabelle 5 festgelegt. Die Zahlen der Tabelle 5 zeigen, daß die oben vorgenommene Korrektur der Leuchtfläche entsprechend der von ihr erzeugten Beleuchtungsstärke zulässig ist.

Tabelle 4

Abhängigkeit der Blendung von der wirksamen Scheinwerferfläche

korrigierte Scheinwfl. cm^2	Beobachter 1	2	10	12	13	15	18	Mittel	rel. Bldg.	beob. — berechnet in Prozent
33	60	85	60	70	75	60	65	68	1°18′	+ 0,8
67,5	70	125	80	80	100	90	85	90	1°43′	+ 3,1
127	80	150	100	90	120	105	95	106	2°01′	— 3,4
230	115	180	120	120	140	135	130	134	2°34′	— 0,5

1 Scheinwerfer f = 2,75 cm. Lampe: 12—16 V, 50 W, seidenmattiert. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 62 Lux.

Tabelle 5

Scheinwerferfl. cm^2	Beobachter 1	2	4	8	10	13	15	16	18	Mittel	rel. Bldg.	beob. — berechn. in Proz.
27	60	80	60	80	55	60	70	50	60	64	1°13′	— 4,4
85,3	90	110	100	150	100	95	105	100	85	104	1°59′	+ 3,2
270	135	165	145	195	145	155	160	145	140	154	2°56′	+ 1,2

1 Scheinwerfer f = 2,75 cm. Lampe: 12—16 V, 50 W, seidenmattiert. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 72 Lux.

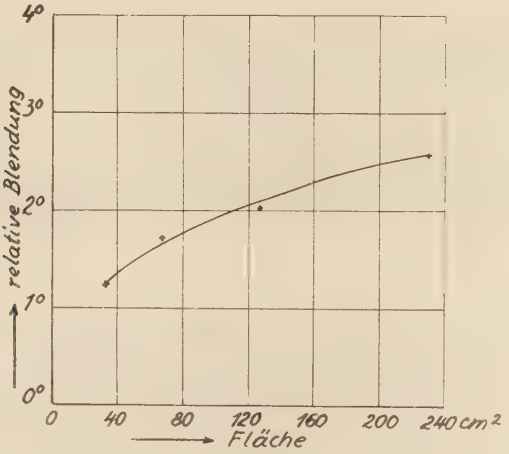

Abb. 5

Eine quantitative Prüfung der Ergebnisse der Blendungsmessung zeigt, daß sich die Blendung in Abhängigkeit von der leuchtenden Fläche in der Form darstellen läßt:

$$D = \sqrt[2,8]{C_1 \times F} \quad [19] \qquad (1)$$

Hierin bedeutet: D den Winkel, unter dem der Abstand Testobjekt—Scheinwerfer vom Beobachter aus erscheint, C_1 eine Konstante, deren Wert von den Versuchsbedingungen (Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt, Adaptationsleuchtdichte) abhängt. Für den in Tabelle 4 wiedergegebenen Versuch ist $C_1 = 0{,}0618$, für den in Tabelle 5 ist $C_1 = 0{,}0729$. F ist die leuchtende Scheinwerferfläche in cm^2.

[19]) Im folgenden wird statt des Winkels α die von Holladay eingeführte Bezeichnung D benutzt. Die Konstante C_1 wurde in Anlehnung an Holladay unter der Wurzel belassen.

Die Abweichungen der beobachteten Mittelwerte für die einzelnen leuchtenden Flächen von den aus Formel (1) berechneten Werten sind in den letzten Spalten der Tabellen 4 und 5 angegeben.

Abweichungen von der oben festgestellten Abhängigkeit der Blendung von der Fläche des Scheinwerfers treten dann auf, wenn die Ausleuchtung des Scheinwerfers ungleichmäßig ist. Eine ungleichmäßige Ausleuchtung wird u. a. verursacht durch die Reflektorform (z. B. Scheinwerfer, deren Reflektor kein genaues Rotationsparaboloid ist), durch die Leuchtkörperform und durch die Verwendung besonderer Abschlußscheiben. Es soll untersucht werden, wie sich die

Abb. 6. Scheinwerfer mit 15-Watt-Lampen

Abb. 7. Scheinwerfer mit 50-Watt-Lampen

Blendung bei Aenderung der Leuchtkörperform und bei Verwendung verschiedener Abschlußscheiben ändert. Bei dem ersten Versuch wurden je zwei 15-Watt-Lampen und je zwei 50-Watt-Lampen mit Klarglaskolben, die gleiche Lichtausbeute besaßen, nacheinander in denselben Scheinwerfern gebrannt und die auftretende Blendung gemessen. Zur Feststellung der verschiedenen Ausleuchtung der Scheinwerfer bei der Verwendung der 15- bzw. der 50-Watt-Lampen wurden die Scheinwerfer aus der Beobachtungsentfernung von 30 m photographiert. Um bei dieser Entfernung Bilder genügender Größe und Schärfe zu erhalten, wurde zu den Aufnahmen eine Linse von 4 m Brennweite benutzt, die auf ein Oeffnungsverhältnis von etwa 1:200

abgeblendet war. Zur Vermeidung der störenden chromatischen Aberration wurde ein stark selektives Blaufilter vor die Linse gesetzt. Die Aufnahmen erfolgten auf feinkörnige Diapositivplatten. Die Abb. 6 und 7 zeigen die Unterschiede in der Ausleuchtung bei Verwendung der beiden Lampentypen. Man erkennt daraus, daß durch den größeren Leuchtkörper der 50-Watt-Lampe die Scheinwerfer gleichmäßiger ausgeleuchtet wurden als durch die kleineren der 15-Watt-Lampen. Das bedeutet, daß die wirksame Leuchtfläche der gleichen Scheinwerfer bei den 50-Watt-Lampen größer ist als die bei den 15-Watt-Lampen. Es ist also zu erwarten, daß die Blendung bei Verwendung der 50-Watt-Lampen größer ist als bei den 15-Watt-Lampen. Die in Tabelle 6 zusammengestellten Ergebnisse des entsprechenden Versuches bestätigen diese Annahme.

Tabelle 6

Blendung bei verschiedener Ausleuchtung der Scheinwerfer

Watt	Beobachter											Mittel	rel. Bldg.
	1	2	3	5	8	10	11	13	15	16	18		
15	50	65	140	125	95	55	75	(60)[20])	55	60	55	76	1° 27′
50	75	120	195	180	125	70	105	110	100	85	85	114	2° 11′

2 Scheinwerfer mit Riffelscheiben f = 2,7 cm, Durchmesser 20 cm.
Lampen: 12—16 V. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1,
Beleuchtungsstärke 144 Lux.

Ein weiterer Versuch bezog sich auf den Einfluß von Streumitteln auf die Blendung. Die Blendung durch Scheinwerfer mit klaren Lampen und klaren Abschlußscheiben wurde verglichen mit der Blendung durch Scheinwerfer mit klaren Lampen und Riffelscheiben und mit der Blendung durch Scheinwerfer mit seidenmatten Lampen und klaren Abschlußscheiben. Hierbei wurden stets dieselben Scheinwerfer und dieselben Lampen verwendet. Das Ergebnis dieses Versuches ist in Tabelle 7 wiedergegeben. Man erkennt daraus, daß die Blendung bei Scheinwerfern mit klaren Abschlußscheiben und klaren Lampen weitaus am größten ist. Durch die Seidenmattierung wird sie erheblich herabgesetzt und wird bei Verwendung klarer Lampen und Riffelscheiben am geringsten.

[20]) Die eingeklammerten Zahlen stellen keine gemessenen Werte dar, sondern sind den Werten der übrigen Beobachter entsprechend angenommen.

Tabelle 7

Herabsetzung der Blendung durch Streumittel

Abschluß-scheibe	Lam-pen	Beobachter 2	3	5	6	9	10	14	15	18	19	Mit-tel	rel. Bldg.
Klar	klar	150	180	190	170	115	110	155	95	105	135	141	2°41′
Klar	sm.	125	150	145	125	(80)	80	150	60	90	90	110	2°06′
Riffel	klar	105	115	125	100	70	65	90	55	85	65	88	1°41′

2 Scheinwerfer 20 cm Durchmesser, f = 2,7 cm. Lampen: 12—16 V[21]), 35 W. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 60 Lux.

Abhängigkeit der Blendung von der Leuchtdichte

Zur Untersuchung des Einflusses der Leuchtdichte des Scheinwerfers auf die Blendung wurde, um übersichtlichere Verhältnisse zu erhalten, nur ein Scheinwerfer verwendet. In diesem Scheinwerfer wurden Lampen mit annähernd gleichen elektrischen Daten, aber ver-

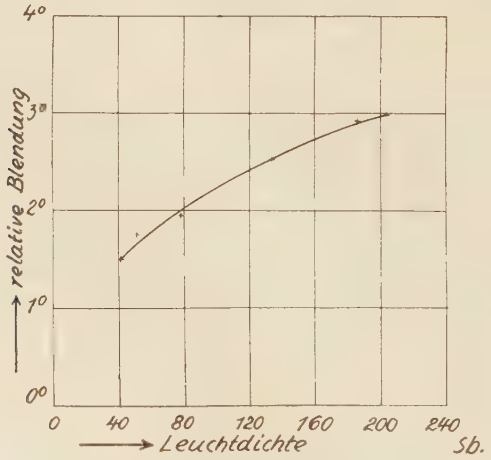

Abb. 8

schieden starker Mattierung gebrannt. Die mittlere Leuchtdichte des Scheinwerfers wurde aus der von ihm auf dem Auge des Beobachters erzeugten Beleuchtungsstärke bestimmt. Der Vergleich der Blendung ergab das in Tabelle 8 und Abb. 8 dargestellte Resultat. Die Blendung wächst mit zunehmender Leuchtdichte. Man kann die Ab-

[21]) Die Lampen brannten bei dem Versuch mit Unterspannung. Wie später gezeigt wird, hat die Aenderung der Lichtfarbe keinen Einfluß auf die Blendung.

hängigkeit der Blendung D von der Leuchtdichte B der konstant gehaltenen Scheinwerferfläche darstellen durch die Beziehung:

$$D = \sqrt[2,4]{C_2 \cdot B}. \qquad (2)$$

Die Konstante C_2 hat bei den vorliegenden Beobachtungsbedingungen den Wert 0,0685. Die Abweichungen der beobachteten Mittelwerte von den aus Formel (2) berechneten sind in der letzten Spalte der Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8

Blendung in Abhängigkeit von der Leuchtdichte

Leuchtdichte (Sb)	Beobachter									Mittel	rel. Bldg.	Proz. Abweichung
	1	2	5	6	10	12	13	15	18			
41	55	90	135	100	65	55	80	65	65	79	1°30′	−2,5
51	65	100	175	115	75	65	85	75	70	92	1°45′	+3,9
76,6	80	120	195	140	75	70	85	75	80	102	1°57′	−2,3
133	100	155	(240)	170	95	85	120	110	110	132	2°31′	+0,2
186	115	180	(280)	160	120	120	140	135	130	153	2°55′	+1,0
203	115	175	(290)	180	125	125	135	130	130	156	2°59′	−0,4

1 Scheinwerfer f = 2,75 cm, Durchmesser 19 cm, Lampen: 12—16 V, 50 W. mattiert. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 48 Lux,

Gleichzeitige Aenderung von Leuchtdichte und Scheinwerferfläche

Holladay[22]) hat bei anderen Blendungsuntersuchungen folgende Näherungsformel für die Blendung angegeben:

$$D = \sqrt[2,4]{C \cdot E}.$$

Hierin bedeutet E die von der blendenden Lichtquelle auf dem Auge des Beobachters erzeugte Beleuchtungsstärke.

Bei konstanter Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer läßt sich in dieser Formel die Größe E durch die ihr proportionale Lichtstärke des Scheinwerfers in Richtung zum Beobachter ersetzen. Die Lichtstärke eines Scheinwerfers, dessen Fläche F gleichmäßig mit der Leuchtdichte B strahlt, ist aber gegeben durch

$$I = B \cdot F.$$

Unter Berücksichtigung dieser Gleichung ergäbe sich aus den in dieser Arbeit experimentell bestätigten Formeln (1) und (2) die Holladaysche Näherungsformel nur dann, wenn die in den beiden Formeln auftretenden Exponenten unter sich gleich wären und den Wert 2,4 hätten. Da dies nicht der Fall ist, läßt sich nach den vorliegenden Untersuchungen eine nur von der Lichtstärke des Scheinwerfers bzw.

[22]) Holladay, l. c.

von der dadurch erzeugten Beleuchtungsstärke auf dem Auge des Beobachters abhängige Formel für die Blendung nur als grobe Näherungsformel angeben. Bei dem Spezialgebiet, dem diese Arbeit besonders gewidmet ist, der Blendung durch Automobilscheinwerfer, sind die praktisch auftretenden Unterschiede in den Größen der leuchtenden Flächen verhältnismäßig klein gegenüber dem Variationsbereich der blendenden Leuchtdichten. Eine der Holladayschen entsprechende Näherungsformel für die Blendung in Abhängigkeit von der Lichtstärke der Scheinwerfer wurde daher auf den für die Aenderung der Leuchtdichte gültigen Exponenten [siehe Formel (2)] von 2,4 bezogen. Wir erhalten also die Gleichung (3):

$$D = \sqrt[2,4]{C_3 \cdot I} = \sqrt[2,4]{C_3 \cdot B \cdot F.} \qquad (3)$$

Diese Formel geht für eine Aenderung der Leuchtdichte bei konstant gehaltener Fläche in Formel (2) über. Sie ist also (siehe Tabelle 8) für einen Variationsbereich in der Leuchtdichte im Verhältnis 1:5 experimentell bestätigt. Bei konstant gehaltener Leuchtdichte hingegen ergeben sich infolge des geänderten Exponenten systematische Abweichungen von der denMeßergebnissen entsprechenden Formel (1), die sich leicht aus dem Unterschied der Exponenten errechnen lassen. Etwas komplizierter werden die Betrachtungen bei einer gleichzeitigen Aenderung von Leuchtdichte und leuchtender Fläche. Hier ist besonders der Fall von Interesse, bei dem beide Größen so geändert werden, daß ihr Produkt, die Lichtstärke der Scheinwerfer, konstant bleibt. Unter dieser Voraussetzung läßt sich der bei Zugrundelegung der Formel (3) auftretende Fehler durch Benutzung der Formeln (1) und (2) errechnen:

Ein Scheinwerfer von der Fläche F_0 strahle gleichmäßig mit der Leuchtdichte B_0. Dann ist die durch ihn hervorgerufene Blendung nach Formel (1)

$$D_0 = \sqrt[2,8]{C_1 \cdot F_0}.$$

Die Größe der blendenden Fläche werde auf das Maß $F_1 = n \cdot F_0$ geändert, die Leuchtdichte sei konstant $= B_0$. Dann gilt für die Blendung dieser geänderten Fläche

$$D_1 = \sqrt[2,8]{C_1 \cdot n \cdot F_0.}$$

Hält man nun die Größe dieser Fläche konstant und variiert ihre Leuchtdichte, so gilt:

$$D = \sqrt[2,4]{C_2 \cdot B.}$$

Für die Leuchtdichte B_0 muß diese Blendung den Wert D_1 erhalten. Also:

$$D_1 = \sqrt[2,4]{C_2 \cdot B_0}.$$

Reduziert man nun die Leuchtdichte auf 1/n, so erhält man einen Scheinwerfer der gleichen Lichtstärke wie die des ursprünglichen Scheinwerfers. Die hierdurch hervorgerufene Blendung D_2 ist gleich:

$$D_2 = \sqrt[2,4]{C_2 \cdot B_0/n}.$$

Dieses D_2 müßte gleich D_0 sein, wenn für die Aenderung von Leuchtdichte und Fläche die gleiche Gesetzmäßigkeit gültig wäre. Die Differenz $D_2 - D_0$ gibt den Fehler an, der entsteht, wenn man den Unterschied zwischen den Formeln (1) und (2) vernachlässigt. Dieser Fehler wird:

$$D_2 - D_0 = \sqrt[2,4]{C_2 \cdot B_0/n} - \sqrt[2,8]{C_1 \cdot F_0}.$$

Aus den beiden eben angegebenen Formeln für die Blendung D_1 läßt sich die Konstante C_2 eliminieren:

$$C_2 = \frac{(C_1 \cdot n \cdot F_0)^{2,4/2,8}}{B_0}.$$

Durch eine einfache Umformung erhält man schließlich für den prozentischen Fehler:

$$\text{Prozentischer Fehler} = \frac{D_2 - D_0}{D_0} 100 = (n^{-0,06} - 1) \cdot 100 \quad (3)$$

Für die innerhalb des Gültigkeitsbereiches der diesen Berechnungen zugrunde liegenden Formeln (1) und (2) zulässigen Aenderungen der Größe der Leuchtfläche und Leuchtdichte ergeben sich für konstant gehaltene Lichtstärken des Scheinwerfers die prozentischen Fehler der Formel (3) für verschiedene n aus der Tabelle 9.

Tabelle 9

n	1/6	1/4	1/2	2	4	6
% Abw.	+ 11,3	+ 8,7	+ 4,2	— 4,1	— 8,0	— 10,2

Zur Ueberprüfung der Holladayschen Annahme der Konstanz der Blendung bei gleichbleibender Lichtstärke der Blendungslichtquelle wurden die beiden folgenden Versuchsmessungen gemacht:

Ein Scheinwerfer mit einem Durchmesser von 20 cm und einer mattierten Lampe wurde durch eine Ringblende so abgeblendet, daß die

sichtbare Leuchtfläche einmal $F = \pi$ cm^2, das zweite Mal $F = 90\,\pi$ Quadratzentimeter betrug. Dabei wurden die Lichtstärken durch Aenderung der Leuchtdichte der Lichtquelle konstant gehalten. Diese Bedingung wurde durch Messung der Beleuchtungsstärke am Auge des Beobachters kontrolliert. Entsprechend der Abweichung der Exponenten in den Gleichungen (1) und (2) müßte sich bei der kleineren Leuchtfläche eine etwas größere Blendung ergeben als bei der großen. Die Differenz in der Blendung dieser beiden Leuchtflächen gleicher Lichtstärke beträgt, wie Tabelle 10 zeigt, 14 Prozent. Sie entspricht quantitativ einigermaßen dem nach einer Extrapolation aus Tabelle 9 zu erwartenden Ergebnis.

Tabelle 10

Blendung verschieden großer Scheinwerfer gleicher Lichtstärke

Scheinwerferfläche	Beobachter												Mittel	rel. Bldg.
	1	2	3	5	6	10	12	13	14	15	18	19		
$90\,\pi$	45	110	120	130	105	80	85	100	115	65	100	80	95	1°49′
π	55	120	125	120	115	90	110	110	160	85	100	100	108	2°04′

Lichtstärke der Scheinwerfer 1260 HK, Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 6:1, Beleuchtungsstärke 10 Lux.

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen über die Abhängigkeit der Blendung von der Größe der Scheinwerferfläche bei gleichbleibender Lichtstärke des Scheinwerfers bewegt sich zwischen den Angaben von Holladay[23]) und denen von Gehlhoff und Schering[24]). Während Holladay bei gleicher Lichtstärke konstante Blendung fordert, ergibt sich aus den rein qualitativen und daher nicht genau mit den vorliegenden Untersuchungen vergleichbaren Versuchen von Gehlhoff und Schering ein gleichgerichteter, jedoch erheblich stärkerer Einfluß der Scheinwerferfläche bei gleichbleibender Lichtstärke als der hier gefundene.

Bei dem nächsten Blendungsversuch bei gleichbleibender Lichtstärke der Scheinwerfer wurde die Scheinwerferfläche konstant gehalten und die Leuchtdichteverteilung des Scheinwerfers geändert. Eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung wurde dadurch erzielt, daß vor dem betreffenden Scheinwerfer eine kleine Kinoglühlampe von der hohen Leuchtdichte von 690 Sb aufgestellt wurde. Die Leuchtdichte des Scheinwerfers selbst wurde dann so gewählt, daß die Kombination von Scheinwerfer plus Kinoröhre die gleiche Lichtstärke besaß wie der Vergleichsscheinwerfer mit einer gleichmäßigen Leucht-

[23]) Holladay, l. c.
[24]) Gehlhoff und Schering, l. c.

dichte von 4,45 Sb. Das Ergebnis dieses Versuches (siehe Tabelle 11) zeigt die praktische Unabhängigkeit der Blendung von der Leuchtdichteverteilung. Hierdurch wird die Berechtigung zu der auf Seite 10 und in Tabelle 4 vorgenommenen Korrektur der Scheinwerferfläche nochmals bestätigt. Die Blendung ist im wesentlichen nur von der für die Lichtstärke des Scheinwerfers maßgebenden mittleren Leuchtdichte abhängig.

Tabelle 11

Einfluß der Leuchtdichteverteilung auf die Blendung

Scheinwerferfläche	Beobachter												Mittel	rel. Bldg.
	1	2	3	5	6	10	12	13	14	15	18	19		
gleichmäßig leucht.	45	110	120	130	105	80	85	100	115	65	100	80	95	1°49′
ungleichmäßig leucht.	45	120	110	120	120	65	75	100	105	75	105	90	94	1°48′

Lichtstärke der Scheinwerfer 1260 HK, Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 6:1, Beleuchtungsstärke 10 Lux.

Gelegentlich dieser Betrachtungen der Abhängigkeit der Blendung von der Lichtstärke soll noch einmal kurz auf die obigen Untersuchungen über den Einfluß der Scheinwerferbrennweite auf die Blendung zurückgekommen werden. Die Lichtstärke eines Scheinwerfers ist bei gleichmäßiger Ausleuchtung in achsialer Richtung, wie schon erwähnt, nur von der Größe der Scheinwerferabschlußfläche und der Leuchtdichte, nicht aber von der Brennweite des Scheinwerfers abhängig. Die Brennweite des Scheinwerferspiegels bestimmt nur zusammen mit den Abmessungen des Leuchtkörpers der Lichtquelle die Streuwirkung. Ist das Verhältnis Brennweite:Leuchtkörperabmessung klein, so besitzt der Scheinwerfer eine große Streuung, d. h. die Abnahme der Lichtstärken bei Entfernung aus der Achsenrichtung vollzieht sich bei Scheinwerfern mit kleiner Brennweite langsamer als bei Scheinwerfern mit großer Brennweite. Dementsprechend muß auch die Blendung bei langbrennweitigen Scheinwerfern bei seitlicher Abweichung der Beobachtungsrichtung von der Achse schneller abnehmen als bei kurzbrennweitigen Scheinwerfern. Diese Folgerung aus den vorstehenden Betrachtungen wurde experimentell geprüft. Ein Scheinwerfer von f = 1,25 cm Brennweite und ein anderer Scheinwerfer von f = 4,8 cm Brennweite wurden mit Lampen gleicher Leuchtkörperdimensionen und gleicher Lichtstärke

ausgerüstet und in bezug auf ihre Blendung in Richtung der Scheinwerferachse und unter einem Winkel von 2° gegen die Scheinwerferachse untersucht. Das Ergebnis zeigt Tabelle 12. Während in achsialer Richtung, wie unter den Versuchsbedingungen anzunehmen war, die Blendung praktisch gleich war, ergab der kurzbrennweitige Scheinwerfer unter einem Winkel von 2° gegen die Achsialrichtung eine um 57 Prozent höhere Blendung als der langbrennweitige.

Tabelle 12

f cm	Beleucht.-Stärke b. Beob.i.Lx	Beobachter 1	4	10	12	13	15	18	Mittel	rel. Bldg.	Bemerkungen
1,25	34	70	80	90	95	95	90	90	87	1°40′	Beobachtungsrichtung
4,8	32	70	80	80	90	110	90	85	86	1°39′	0 Grad gegen d. Scheinwerferachse
1,25	15	60	65	60	65	80	75	70	68	1°18′	Beobachtungsrichtung
4,8	6,5	35	40	40	50	50	(45)	(45)	44	0°50′	2Grad gegen die Scheinwerferachse

Scheinwerfer: klare Abschlußscheiben, seidenmatte 50-W-Lampen, 11 cm Durchmesser. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 60 Lux.

Abhängigkeit der Blendung von der Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer

Die bisherigen und auch die meisten späteren Versuche wurden bei dem konstanten Beobachtungsabstand von 30 m vom Scheinwerfer durchgeführt. Für die Anwendbarkeit der Untersuchungen auf praktische Fälle war es aber von großer Wichtigkeit, die Blendung in Abhängigkeit von der Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer zu prüfen. Dieses geschah durch die in den Tabellen 13 und 14 wiedergegebenen Versuche. Der erste dieser Versuche wurde in dem oben geschilderten Meßraum durchgeführt. Da eine größere Variierung des Abstandes dort nicht möglich war, wurde die Blendung nur bei 30 m und bei 15 m Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer untersucht. Um auch bei größeren Entfernungen Messungen vornehmen zu können, wurde ein zweiter Versuch nachts im Freien ausgeführt. Die Meßentfernungen betrugen 60 bzw. 120 m. Da die Beleuchtungs- und Adaptationsverhältnisse nicht bei beiden Versuchen gleich waren, ist ihre Zusammenfassung nicht möglich.

Tabelle 13

Einfluß der Entfernung des Beobachters vom Scheinwerfer auf die Blendung

Entfernung d. Beobachters v. Scheinwerfe	Beobachter 2	3	4	5	6	10	15	18	20	Mittel	rel. Bldg.
15 m	65	80	60	75	70	65	80	70	75	71	2°43′
30 m	130	165	100	150	135	130	145	130	150	136	2°36′

Tabelle 14

Entfernung d. Beobachters v. Scheinwerfer	Beobachter 2	3	4	5	10	15	18	20	Mittel	rel. Bldg.
60 m	280	380	280	300	270	290	270	280	294	2°48′
120 m	540	800	480	560	540	580	540	540	573	2°44′

Sehwinkel des Scheinwerferdurchmessers: 10′ 18,8″. Sehwinkel des Testobjektschlitzes: 3′ 26,2″. Kontrast des Testobjektes: 19:1.

Bei beiden Versuchen wurden die Sehwinkel, unter denen Scheinwerfer und Testobjekt dem Beobachter erschienen, konstant gehalten. Es ergab sich, daß der gemessene lineare Abstand des Testobjektes vom Scheinwerfer ungefähr proportional der Beobachtungsentfernung war, daß also die in Winkelgraden ausgedrückte relative Blendung nahezu unabhängig von der Beobachtungsentfernung war.

Einfluß der Eigenschaften des Testobjektes

Nach Holladay[25]) ist die in Formel (3) auftretende Konstante C_3 von den Eigenschaften des Testobjektes abhängig; und zwar ist sie umgekehrt proportional der Differenz $B_a - B_i$. B_a ist dabei die Leuchtdichte des Außenfeldes des Testobjektes, B_i die des Ringsektors. Für eine Untersuchung der Eigenschaften des Testobjektes müßte man nach Holladay schreiben können:

$$D = \sqrt[2,4]{\frac{10\,E_B}{B_a - B_i}}\,.^{26}) \qquad (4)$$

Hier bedeutet E_B die vom Scheinwerfer auf dem Auge des Beobachters erzeugte Beleuchtungsstärke. Die Leuchtdichtedifferenz auf dem Testobjekt läßt sich aber darstellen durch seine Beleuchtungsstärke und seinen Kontrast. Ist p_a das Reflexionsvermögen des Außen-

[25]) Holladay, J. c.

[26]) Hierin sind E_B in Lux, B_a und B_i in Apostilb zu messen. Bei Holladay hat die Formel wegen der amerikanischen Maßeinheiten eine andere Konstante.

feldes und ρ_i das des Ringsektors, so ist der Kontrast des Testobjektes gegeben durch:

$$K = \frac{B_a}{B_i} = \frac{\rho_a}{\rho_i}.$$

Die Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt sei E_T. Man könnte also die Abhängigkeit der Blendung von den Eigenschaften des Testobjektes auch darstellen durch:

$$D = \sqrt[2,4]{\frac{E_B}{\rho_i E_T (K-1)}}. \qquad (5)$$

In dieser Form ist die Gleichung geeignet, die Abhängigkeit der Blendung von Beleuchtungsstärke und Kontrast des Testobjektes getrennt nachzuprüfen. Für die erste dieser Untersuchungen wurde ein Testobjekt mit veränderlichen Kontrasten hergestellt (siehe Abbildung 9). Es bestand aus einer Blechröhre von 20 cm Durchmesser,

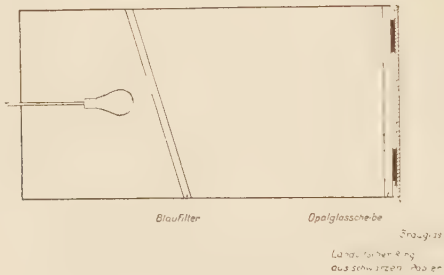

Abb. 9

die innen weiß gestrichen war. Diese Röhre war durch eine Opalglasscheibe abgeschlossen, auf deren Außenseite ein C-förmiger Ring aus schwarzem Papier aufgeklebt war. Dieses Testobjekt konnte von innen durch eine und von außen durch zwei für den Beobachter nicht sichtbare Lampen beleuchtet werden. Um auch bei einer Außenbeleuchtung sehr geringe Kontraste erhalten zu können, war vor diesem Testobjekt ein Graufilter vorgeschaltet, Schaltete man nun die Innenbeleuchtung ein, so ergab sich ein Kontrast, der sich durch Aenderung der Spannung der inneren Lampe beliebig ändern ließ. Da bei großen Kontrasten die stark unterlastete Lampe eine sehr rötliche Lichtfarbe hatte, wurde ein Blaufilter davorgesetzt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Tabelle 15 zusammengestellt. Bei einer quantitativen Prüfung ergibt sich jedoch keine Uebereinstimmung

mit der von Holladay aufgestellten Formel. Es besteht zwar für die hier gefundenen Werte eine Beziehung von der Form:

$$D = \sqrt[x]{\frac{C_4}{(K-1)}},$$

jedoch ergibt sich der Exponent x zu 1,9 (nach Holladay 2,4).

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Blendung von der Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt (siehe Tabelle 16) ergibt sich:

$$D = \sqrt[3{,}3]{\frac{C_5}{E_T}}.$$

Tabelle 15

Blendung bei verschiedenen Kontrasten des Testobjektes

K	Beobachter										Mittel	rel. Bldg.
	1	2	6	10	12	13	14	15	18	19		
4	90	145	165	120	130	130	170	90	110	125	128	2°27′
6	55	135	140	95	100	110	120	70	85	100	101	1°56′
8	45	95	115	80	70	85	110	65	80	70	82	1°34′

Zwei Scheinwerfer. Beleuchtungsstärke beim Beobachter 1,2 Lux. Testobjekt: s = 5 cm.

Für eine gleichzeitige Aenderung der Größen E_B, E_T und $(K-1)$ gilt also:

$$D = C_6 \cdot \sqrt[2{,}4]{E_B} \cdot \sqrt[1{,}9]{\frac{1}{K-1}} \cdot \sqrt[3{,}3]{\frac{1}{E_T}}. \qquad (6)$$

Diese Formel kann mit der von Holladay angegebenen Formel (4) bzw. (5) nur innerhalb kleiner Bereiche gleiche Ergebnisse liefern[27]).

---

[27]) Der Gedanke läge nahe, zu versuchen, eine von den Eigenschaften des Testobjektes unabhängige „absolute Blendung" zu definieren. Die Variationsmöglichkeiten in Art, Größe, Leuchtdichte und Kontrast des Testobjektes sind aber so zahlreich, daß sie kaum alle gleichzeitig quantitativ erfaßt werden können. Dagegen könnte man in der Gleichung (6) die Variabeln K und E_T auf die linke Seite bringen und den Wert

$$D \cdot \sqrt[1{,}9]{K-1} \cdot \sqrt[3{,}3]{E_T} = C_6 \cdot \sqrt[2{,}4]{E_B}$$

als eine Blendung, die vom Kontrast und von der Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt unabhängig ist, definieren.

Tabelle 16

Einfluß der Beleuchtungsstärke auf dem Testobjekt auf die Blendung

Beleucht.-Stärke in Lux	Beobachter									Mittel	rel. Bldg.
	1	2	7	8	10	11	13	15	18		
18	185	(220)	185	185	165	(220)	175	195	180	190	3°37′
36	150	180	(170)	150	145	180	135	140	140	154	2°56′
72	110	160	155	150	130	130	135	125	120	135	2°35′
144	85	110	95	115	95	100	100	(100)	75	97	1°51′
288	70	105	65	120	60	95	90	90	70	85	1°37′

Zwei Scheinwerfer mit Riffelscheiben, Durchmesser = 20 cm, f = 2,7 cm. Lampen 12—16 V, 35 W, klar. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1.

Blendungsmessungen nach der Zeitmethode

Da für praktische Fälle die Feststellung der Zeit, innerhalb der bei einer auftretenden Blendung ein im Gesichtsfeld befindlicher Kontrast erkannt werden kann, von großer Bedeutung ist, wurde untersucht, welcher Zusammenhang zwischen Ergebnissen aus der bisher allein benutzten Abstandsmethode und einer Blendungsmessung durch Variation der Beobachtungszeit besteht. Zu diesem Zweck wurde der bereits oben nach der Abstandsmethode durchgeführte Versuch zur Messung des Einflusses der Leuchtdichte auf die Blendung unter Benutzung der Zeitmethode wiederholt. Hierfür wurde die Meßapparatur umgebaut: Die Sektorscheibe, die dem Beobachter die Blickrichtung zum Scheinwerfer und zum Testobjekt freigibt, wurde durch einen Elektromotor in dauernde Rotation versetzt. Durch Regulierung der Tourenzahl des Motors (Barkhausensche Schaltung) konnte die Rotationsgeschwindigkeit des Sektors und damit die Beobachtungszeit beliebig eingestellt werden. Um verschieden lange Pausen[28]) zwischen den Beobachtungen erhalten zu können, war das Beobachtungsloch normalerweise durch eine Klappe verdeckt. Diese konnte von dem Beobachter nur dann geöffnet werden, wenn die Sektorscheibe gerade die Blickrichtung abdeckte. Unmittelbar nach der Freigabe der Beobachtungsrichtung schloß sich die Klappe wieder automatisch. Das Ergebnis der Messungen zeigt Tabelle 17. Die Absolutwerte der Beobachtungszeiten der einzelnen Beobachter hatten untereinander eine derartige Streuung, daß es nötig war, die Zeiten relativ anzugeben, um eine Mittelwertbildung zu ermöglichen. Die für die einzelnen Beobachter zum Erkennen des Testobjektes nötigen Zeiten standen maximal im Verhältnis von etwa 1:9. Wenn man die

[28]) Die Pausen wurden gleich dem 50fachen der Beobachtungszeit gewählt.

Mittelwerte der relativen Beobachtungszeit mit den entsprechenden Werten der Tabelle 8 vergleicht, so zeigt sich, daß der qualitative Gang der Abhängigkeit der Blendung von der Leuchtdichte in beiden Fällen der gleiche ist. Ein Vergleich der entsprechenden Werte der einzelnen Beobachter spricht für eine erheblich größere Meßgenauigkeit der Abstandsmethode. Es wurde daher auf eine quantitative Auswertung von Blendungsmessungen nach der Zeitmethode verzichtet.

Tabelle 17

Messung nach der Zeitmethode
Abhängigkeit der Blendung von der Leuchtdichte

mittlere Leuchtdichte Sb	Beobachter										Mittel
	1	2	6	10	12	13	14	15	18	19	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1,13	1,24	1,38	1,23	1,11	1,27	3,0	1,57	1,12	1	1,4
190	1,61	4,24	2,70	1,23	3,05	4,82	8,6	2,19	2,18	1,95	3,2
230	1,78	4,24	10,3	2,40	2,70	5,38	9,0	2,19	1,94	2,43	4,2

1 Scheinwerfer: f = 2,3 cm, Durchmesser = 19 cm. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 48 Lux. Lampen: 12—16 V, 50 W, mattiert.

Einfluß der Lichtfarbe auf die Blendung

Zur Ermittelung des Einflusses der Lichtfarbe auf die Blendung wurde folgender Versuch gemacht: Ein Scheinwerfer, vor dem sich auswechselbare Filter befanden, wurde als blendende Lichtquelle benutzt. Die Lampenspannung wurde jeweils so gewählt, daß die Lichtstärke des Scheinwerfers in Richtung zum Auge des Beobachters konstant war (20 100 HK). Sie wurde durch Messung der Beleuchtungsstärke beim Beobachter kontrolliert. Für die Untersuchung wurden die Farben Blau, Weiß und Gelb gewählt. Die Blendung bei diesen verschiedenen Lichtfarben wurde verglichen. Wie Tabelle 18 zeigt, besteht bei den verwendeten Filtern kein Unterschied in der Blendung. Dieses Resultat wurde noch durch einen weiteren Kontrollversuch bestätigt (siehe Tabelle 19). Es widerspricht allerdings den Untersuchungen von Gehlhoff und Schering[29]), die ergeben haben, daß blaues Scheinwerferlicht viel stärker blendet als gelbes (1950 HK gelbes Scheinwerferlicht genau so stark blendend wie 530 HK blaues Scheinwerferlicht). Stiles[30]) dagegen vertritt die Ansicht, daß die

[29]) Gehlhoff und Schering, l. c.

[30]) W. S. Stiles, Ill. Eng. Bd. 22, S. 304, 1929.

Lichtfarbe keinen wesentlichen Einfluß auf die Blendung habe. Die von Holladay[31]) angestellten Versuche über die Blendung bei verschiedenen Lichtfarben lassen sich leider nicht mit den vorliegenden Untersuchungen vergleichen, da Holladay sein Testobjekt jeweils mit Licht von der Farbe der blendenden Lichtquelle beleuchtete.

Tabelle 18

Einfluß der Lichtfarbe auf die Blendung

Farbe	Beobachter											Mittel	rel. Bldg.
	1	2	3	5	6	10	12	13	15	18	19		
Weiß	80	165	(265)	265	165	130	95	150	105	130	105	150	2°52′
Blau	85	140	265	265	145	130	90	140	105	125	110	145	2°46′
Gelb	80	140	260	275	185	125	100	150	105	125	115	151	2°53′

Tabelle 19

Farbe	Beobachter							Mittel	rel. Bldg.
	1	6	10	13	15	18	19		
Weiß	90	160	115	150	110	135	120	126	2° 24′
Blau	90	155	120	150	120	115	120	124	2° 22′
Gelb	90	150	125	150	115	120	120	124	2° 22′

Ein Scheinwerfer: Durchmesser = 18,9 cm, Lampe: 12—16 V, 35 W, seidenmattiert. Testobjekt: s — 5 cm, Kontrast 19:1, Beleuchtungsstärke 50 Lux (mit weißem Licht beleuchtet).

Messungen unter praktischen Bedingungen

Während bei den bisherigen Versuchen überall da, wo es die Eindeutigkeit der Versuchsbedingungen erforderte, mit nur einem Scheinwerfer gearbeitet wurde, wurde bei den folgenden Versuchen, die die Brauchbarkeit der entwickelten Methode an einigen interessanten Beispielen der Praxis dartun sollen, den Bedingungen der Praxis entsprechend stets ein Scheinwerferpaar benutzt.

Den Einfluß der Wattzahl der benutzten Glühlampen bei dem Fernlicht eines Scheinwerfers auf die Blendung zeigen die in Tabelle 20 zusammengestellten Meßergebnisse. In der letzten Zeile dieser Tabelle sind die Abweichungen von den aus Formel (3) berechneten Werten angegeben.

[31]) Holladay, l. c.

Tabelle 20

Einfluß der Wattzahl der benutzten Glühlampen auf die Blendung

Watt	15	20	25	35	50
Beleuchtungsstärke beim Beobachter in Lux	33	51	59	84	112
Relative Blendung (Mittel aus 11 Beobachtern)	1° 27′	1° 48′	1° 51′	2° 10′	2° 22′
Fehler in Prozenten	−0,6	+2,9	−0,4	+0,6	−2,5

2 Scheinwerfer mit Riffelscheiben. Testobjekt: s = 5 cm, Kontrast 19:1. Beleuchtungsstärke 144 Lux.

Recht interessant ist auch ein Vergleich der Blendung bei den verschiedenen Systemen abgeblendeter Scheinwerfer. Das Ergebnis ist in Tabelle 21 niedergelegt. Da bei abgeblendeten Scheinwerfern ein verhältnismäßig großer Teil des Lichtstromes auf die Bodenfläche zwischen Scheinwerfer und Beobachter auftrifft, konnte hierbei die im Auge des Beobachters erzeugte Beleuchtungsstärke zu einem nicht zu vernachlässigenden Anteil durch die Rückstrahlung von dem Boden erzeugt sein. Messungen, bei denen die Beleuchtungsstärke beim Beobachter unter Abschattung des Bodenlichtes bestimmt wurde, zeigten, daß bei den abgeblendeten Scheinwerfern im Gegensatz zum Fernlicht die vom Bodenlicht herrührenden Beleuchtungsstärken Beträge annahmen, die nicht mehr vernachlässigt werden durften. Dementsprechend sind die in der Tabelle 21 angegebenen Werte der Beleuchtungsstärke E_B die um die Rückstrahlung vom Boden reduzierten Beleuchtungsstärken. In der letzten Zeile dieser Tabelle sind wieder die Abweichungen von den aus Formel (3) berechneten Werten angegeben.

Aus den beiden letzten Tabellen geht hervor, daß man selbst unter komplizierteren Verhältnissen mit der in der Praxis erforderlichen Genauigkeit einen Blendungsvergleich verschiedener Systeme ohne besondere Blendungsmessungen, sondern nur durch die Bestimmung der vom Scheinwerfer direkt am Auge des Beobachters erzeugten Beleuchtungsstärke vornehmen kann.

Für die stete Förderung und gütige Beratung bei der Anfertigung dieser Arbeit bin ich Herrn Dr. F. Skaupy zu großem Danke verpflichtet. Herrn Dr. F. Born bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für ständige Unterstützung besonders dankbar. Ferner ist es mir ein Bedürfnis, der Osram-Gesellschaft, die mir die Hilfsmittel ihres optischen Laboratoriums zur Durchführung der Versuche entgegenkommenderweise zur Verfügung stellte, und insbesondere Herrn Dr. O. Reeb für sein dauerndes Interesse an der Arbeit meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Schließlich danke ich noch allen denen, die sich mir als Beobachter für die Versuche zur Verfügung gestellt haben.

Tabelle 21

Blendungsmessungen an abgeblendeten Scheinwerfern

Art der Abblendung	Bilux	Bilux	Bilux	Bilux	Bilux	Bilux	d. Neigung um 3° und gleichz. Herabsetzg. der Lichtst. auf ½ d. urspr.	d. Neigung um 3° und gleichz. Herabsetzg. der Lichtst. auf ½ d. urspr.	kleiner Scheinw. 3° geneigt	kleiner Scheinw. 3° geneigt	kleiner Scheinw. 3° geneigt
Abschlußscheiben	klar	Bosch-Riffelscheibe	klar	klar	Bosch-Riffelscheibe	klar	Bosch-Riffelscheibe	klar	klar	klar	klar
Lampen . . .	12—16 V 35/20 W seidenm.	12—16 V 35/20 W klar	12—16 V 35/20 W klar	12—16 V 35/25 W seidenm.	12—16 V 35/25 W klar	12—16 V 35/25 W klar	12—16 V 35 W klar	12—16 V 35 W seidenmatt.	12—16 V 20 W seidenm.	12—16 V 20 W stark m.	12—16 V 20 W klar
Beleuchtungsst. beim Beobachter in Lux . .	0,88	0,55	0,71	1,1	0,6	0,58	2,5	7,5	4,9	3,5	2,8
Relative Blendg. (Mittel aus 11 Beobachtern)	1° 27′	1° 16′	1° 25′	1° 34′	1° 13′	1° 11′	2° 25′	3° 40′	3° 13′	2° 38′	2° 36′
Fehler in Proz.	— 3,3	+ 2,6	+ 3,1	— 5,0	— 4,7	— 6,3	+ 4,1	—	+ 4,7	— 1,2	+ 6,8

2 Scheinwerfer, Tastobjekt: s = 5 cm, Kontrast 6 : 1, Beleuchtungsstärke 10 Lux.

Zusammenfassung

1. Nach einem kurzen Ueberblick über schon vorhandene Arbeiten auf diesem Gebiete wird eine Methode geschildert, nach der eine Reihe von Messungen über die Blendung durch Automobilscheinwerfer in Abhängigkeit von verschiedenen Variabeln durchgeführt wurden. Sie benutzt den Winkel, unter dem der Abstand des gerade noch erkennbaren Prüfobjektes vom Scheinwerfer dem Beobachter erscheint, als Maß der Blendung (Abstandsmethode).

2. Für die Abhängigkeit der „relativen Blendung" D von der Größe der leuchtenden Fläche F wurde innerhalb des untersuchten Bereiches die Gültigkeit einer Gesetzmäßigkeit von der Form

$$D = \sqrt[2,8]{C \cdot F}$$

gefunden.

3. Für die Abhängigkeit der „relativen Blendung" von der Leuchtdichte B gilt entsprechend:

$$D = \sqrt[2,4]{C \cdot B}.$$

4. Bei gleichzeitiger Aenderung von Leuchtdichte und Leuchtfläche kann man — ähnlich wie Holladay — nach einer Näherungsformel arbeiten:

$$D = \sqrt[2,4]{C \cdot B \cdot F}.$$

Der Fehler, den diese Formel bedingt, wird diskutiert, und es werden für die wichtigsten Fälle die zugehörigen Korrekturen angegeben.

5. Die „relative Blendung" erweist sich von der Beobachtungsentfernung praktisch unabhängig, wenn die Sehwinkel sowohl vom Scheinwerfer als auch vom Testobjekt konstant gehalten werden.

6. Eine von Holladay gefundene und in der vorliegenden Arbeit etwas modifizierte Formel über die Abhängigkeit der „relativen Blendung" von den Eigenschaften des Testobjektes wird durch Versuche geprüft. Die sich ergebenden Abweichungen werden diskutiert.

7. Die Ergebnisse der Bestimmung der Blendung in Abhängigkeit von der Leuchtdichte des Scheinwerfers durch Variation der Beobachtungszeit werden mit den nach der „Abstandsmethode" erhaltenen Ergebnissen verglichen.

8. Nach den vorliegenden Untersuchungen besteht ein Einfluß der Lichtfarbe auf die Blendung beiden Farben Blau Gelb und Weiß nicht.

9. Die angegebene Meßmethode wird zur Prüfung einiger Scheinwerferanordnungen der Praxis auf ihre Blendung benutzt. Dabei zeigt sich, daß im allgemeinen unter sonst konstanten Bedingungen die Blendung verschiedener Scheinwerfer durch Messung der Beleuchtungsstärken verglichen werden kann, die die vom Scheinwerfer direkt zum Auge des Beobachters gelangenden Strahlen am Beobachtungsort erzeugen.

Lebenslauf.

Am 16. Dezember 1908 wurde ich als Sohn des Buchhalters Hugo Wolff und seiner Ehefrau Emmi geb. Lueg in Köln a. Rh. geboren. Wegen häufigen Wohnungswechsels meiner Eltern besuchte ich im Laufe meiner Kindheit mehrere Schulen. 1924 ging ich dann zu der Oberrealschule in Berlin-Mariendorf über und bestand dort Ostern 1927 mein Abiturientenexamen. Von 1927 bis 1931 habe ich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin studiert. Von März 1929 bis Dezember 1930 habe ich die experimentellen Untersuchungen für meine Dissertation bei der Firma Osram G.m.b.H., K.-G., angefertigt.